

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problems Mailbox.**

2

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-194940

(43)Date of publication of application : 21.07.1999

(51)Int.Cl.

G06F 9/38
G06F 9/38

(21)Application number : 09-367675

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 29.12.1997

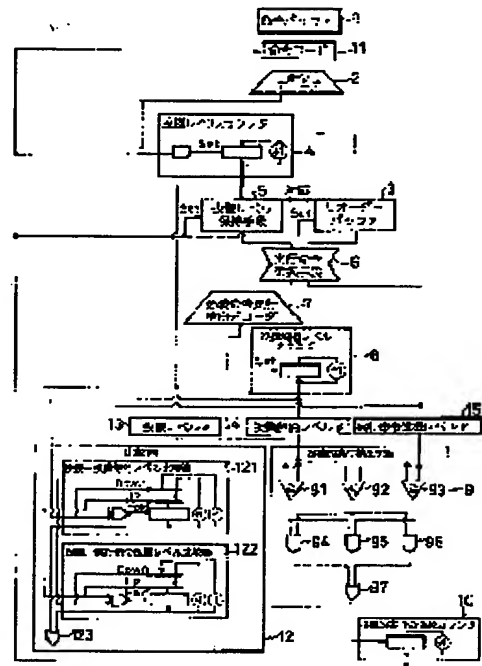
(72)Inventor : SAWAMURA AKIHIRO
NAKANO TAKEHIKO

(54) SPECULATIVE EXECUTION INSTRUCTION NUMBER COUNT DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To shorten an analysis time for program optimization or hardware performance improvement by adapting the number of speculative execution instruction.

SOLUTION: A speculation level counter 4 counts a speculation level α when a branching instruction is registered in a reorder buffer 3 and a speculative level holding means 5 holds the speculation level α . An execution instruction selection means 6 selects an instruction for starting execution out of the reorder buffer 3 and, at the same time, selects the speculation level α corresponding to this instruction out of the speculation level holding means 5 and outputs it as an execution instruction speculation level γ . When it is detected by a branch instruction execution detection decoder 7 that this instruction is the branching instruction, a speculation release level counter 8 counts a speculation release level β . A speculative execution detection means 9 compares the speculation level α , the speculation release level β and the execution instruction speculation level γ , detects speculative execution and a speculative execution instruction number counter 10 counts this.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 29.12.1997

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 2910848

[Date of registration] 09.04.1999

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-194940

(43)公開日 平成11年(1999)7月21日

(51) Int.Cl.⁸

G O 6 F 9/38

識別記号

380

3 3 0

FI

G 0 6 F 9/38

380 C

330X

審査請求 有 請求項の数 7 FD (全 11 頁)

(21)出願番号

特願平9-367675

(22) 出題日

平成9年(1997)12月29日

(71)出題人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72)発明者 澤村 明寛

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(72)発明者 中野 毅彦

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

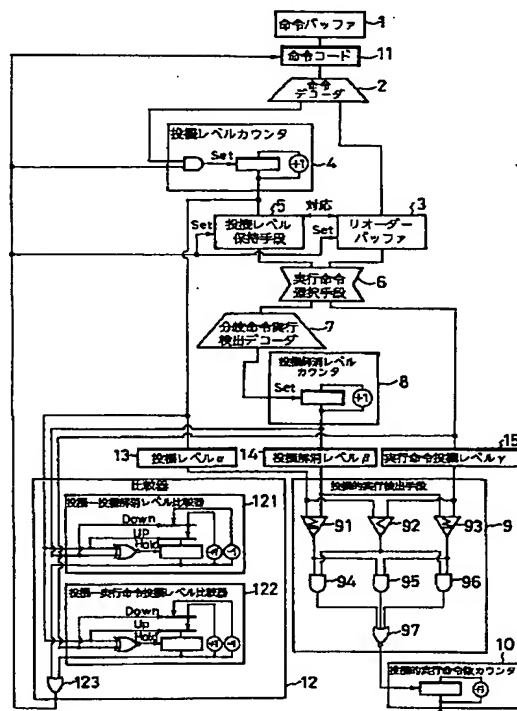
(74)代理人 弁理士 河原 純一

(54) 【発明の名称】 投機的実行命令数カウント装置

(57) 【要約】

【課題】 投機的実行命令数を採取することにより、プログラム最適化やハードウェア性能改善のための解析時間の短縮を可能とする。

【解決手段】 投機レベルカウンタ4はリオーダーバッファ3に分岐命令が登録される際に投機レベル α をカウントし、投機レベル保持手段5は投機レベル α を保持する。実行命令選択手段6はリオーダーバッファ3の中から実行開始する命令を選択するとともに該命令に対応する投機レベル α を投機レベル保持手段5の中から選択して実行命令投機レベル γ として出力する。該命令が分岐命令であることが分岐命令実行検出デコーダ7により検出されると、投機解消レベルカウンタ8は投機解消レベル β をカウントする。投機的実行検出手段9は投機レベル α 、投機解消レベル β および実行命令投機レベル γ を比較して投機的実行を検出し、投機的実行命令数カウンタ10はこれをカウントする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 命令バッファと、この命令バッファから取り出された命令をデコードする命令デコーダと、この命令デコーダによりデコードされた命令を一時記憶しておくリオーダーバッファと、このリオーダーバッファの中から実行開始する命令を選択する実行命令選択手段とを有する投機的命令実行機能付きの情報処理装置において、

前記リオーダーバッファに分岐命令が登録される際にカウントする投機レベルカウンタと、

前記リオーダーバッファのエントリ位置に対応して前記投機レベルカウンタの投機レベルが保持される投機レベル保持手段と、

前記リオーダーバッファの中から実行開始する命令を選択するとともに該命令に対応する投機レベルを前記投機レベル保持手段の中から選択して実行命令投機レベルとして出力する前記実行命令選択手段と、

この実行命令選択手段により選択された命令が分岐命令のときにカウンタ信号を生成する分岐命令実行検出デコーダと、

この分岐命令実行検出デコーダからの前記カウンタ信号により投機解消レベルをカウントする投機解消レベルカウンタと、

前記投機レベルカウンタの投機レベル、前記投機解消レベルカウンタの投機解消レベルおよび前記実行命令選択手段により実行開始する命令として選択された命令の実行命令投機レベルを比較して投機的実行を検出する投機的実行検出手段と、

この投機的実行検出手段により投機的実行が検出されたときにカウントする投機的実行命令数カウンタとを有し、

前記投機的実行命令数カウンタのカウント値を採取することにより投機的に実行された命令の数を数えることができることを特徴とする投機的実行命令数カウンタ装置。

【請求項2】 前記投機的実行検出手段が、
実行命令投機レベル \leq 投機解消レベル \leq 投機レベル、投機レベル $<$ 実行命令投機レベル \leq 投機解消レベル、および投機解消レベル $<$ 投機レベル \leq 実行命令投機レベルの3式に基づいて投機的実行を検出する請求項1記載の投機的実行命令数カウンタ装置。

【請求項3】 前記リオーダーバッファが、オペコードおよびオペランドを保持する複数のエントリからなるオペコード／オペランド保持手段と、対応するオペコード／オペランドが有効か否かを表すバリッドビットを保持するエントリ有効フラグと、対応するオペコード／オペランドが実行開始する条件を満たしているか否かを判断するために必要な情報を保持する複数のエントリからなる制御情報保持手段とから構成されている請求項1記載の投機的実行命令数カウンタ装置。

【請求項4】 前記実行命令選択手段が、前記リオーダーバッファからバリッドビットおよび制御情報をそれぞれ受け取って前記リオーダーバッファで保持されている各命令の実行優先順位を調停し実行開始される命令の選択信号を出力する実行命令選択実行手段と、この実行命令選択実行手段からの選択信号に基づいて前記リオーダーバッファから実行開始される命令を選択して前記分岐命令実行検出デコーダへ出力するオペコード／オペランド選択手段と、前記実行命令選択実行手段からの選択信号に基づいて前記投機レベル保持手段から実行開始される命令に対応する投機レベルを選択して実行命令投機レベルとして出力する投機レベル選択手段とから構成されている請求項1記載の投機的実行命令数カウンタ装置。

【請求項5】 前記投機的実行検出手段が、前記投機レベルと前記投機解消レベルとを比較する第1の比較器と、前記投機レベルと前記実行命令投機レベルとを比較する第2の比較器と、前記投機解消レベルと前記実行命令投機レベルとを比較する第3の比較器と、前記第1の比較器の出力と前記第2の比較器の出力とを論理積する第1のANDゲートと、前記第1の比較器の出力と前記第3の比較器の出力とを論理積する第2のANDゲートと、前記第2の比較器の出力と前記第3の比較器の出力とを論理積する第3のANDゲートと、第1ないし第3のANDゲートの出力を論理和して反転するNORゲートとから構成されている請求項1記載の投機的実行命令数カウンタ装置。

【請求項6】 前記投機レベル、前記投機解消レベルおよび前記実行命令投機レベルを比較する比較器を備え、前記投機レベルと前記投機解消レベルとの差が前記投機レベルカウンタおよび前記投機解消レベルカウンタの最大カウント値であれば、あるいは前記投機レベルと前記実行命令投機レベルとの差が前記投機レベルカウンタの最大カウント値であれば、前記比較器から抑止信号が出力され、前記命令デコーダ、前記投機レベルカウンタ、前記リオーダーバッファおよび前記投機レベル保持手段への入力が抑止される請求項1記載の投機的実行命令数カウンタ装置。

【請求項7】 前記比較器が、前記投機レベルと前記投機解消レベルとを比較する投機－投機解消レベル比較器と、前記投機レベルと前記実行命令投機レベルとを比較する投機－実行命令投機レベル比較器と、前記投機－投機解消レベル比較器の出力と前記投機－実行命令投機レベル比較器の出力とを論理和するORゲートとから構成されている請求項6記載の投機的実行命令数カウンタ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は投機的実行命令数カウンタ装置に関し、特に投機的命令実行機能付きの情報処理装置において投機的に実行された命令の数をカウン

10

20

30

40

50

トする投機的実行命令数カウント装置に関する。

【0002】

【従来の技術】パイプライン方式を採用する情報処理装置には、分岐命令の分岐先が確定する前に、該分岐命令の分岐予測先の命令をフェッチし、さらに実行を行う投機的命令実行機能付きの情報処理装置においては、ハードウェアの理論最大性能に近い実効性能を引き出すためには、分岐予測が成功しやすいプログラム制御構造をとること、および分岐命令の後続の命令がより多く投機的に実行しやすいプログラムを作成することが重要になる。

【0003】従来の投機的命令実行機能付きの情報処理装置においては、分岐予測の成功あるいは失敗した回数、または分岐予測が失敗したことにより命令再フェッチのためにパイプラインが停止したクロック数を測定するカウンタをハードウェアに実装し、これらによって測定した数値をプログラム最適化やハードウェア性能改善のためのデータとして利用することができたが、投機的に実行された命令の数を数えることは、ハードウェア的にサポートされていなかった。よって、投機的実行命令数の観点からのプログラム最適化は、最適化の指標となるデータをシミュレーションや人手で机上の検討によって算出せざるを得ず、非常に困難であった。

【0004】なお、先行技術としては、分岐予測の成功率を良くするための技術（特開平4-264923号公報、特開平8-241198号公報、特開平8-234979号公報、特開平8-63356号公報）や、無駄な処理を省く技術（特開平7-200293号公報）や、無条件分岐命令実行の高速化技術（特開平4-33021号公報）や、分岐予測が失敗したときに効率的に処理を行う技術（特開平6-230967号公報）等が公知である。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上述した従来の投機的命令実行機能付きの情報処理装置では、投機的実行命令数をシミュレーションによって算出する場合には、シミュレータを開発しなければならず、多くの時間および費用が必要になるという問題点があった。

【0006】また、投機的実行命令数を人手で机上の検討によって算出する場合も、シミュレーションによって算出する場合と同様の問題点があった。

【0007】本発明の目的は、投機的に実行された命令の数をカウントする機能を投機的命令実行機能付きの情報処理装置に付加し、投機的実行命令数を採取して利用することにより、プログラム最適化やハードウェア性能改善のための解析時間の短縮を図るようにした投機的実行命令数カウント装置を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明の投機的実行命令数カウント装置は、命令バッファと、この命令バッファ

から取り出された命令をデコードする命令デコーダと、この命令デコーダによりデコードされた命令を一時記憶しておくリオーダーバッファと、このリオーダーバッファの中から実行開始する命令を選択する実行命令選択手段とを有する投機的命令実行機能付きの情報処理装置において、前記リオーダーバッファに分岐命令が登録される際にカウントする投機レベルカウンタと、前記リオーダーバッファのエントリ位置に対応して前記投機レベルカウンタの投機レベルが保持される投機レベル保持手段と、前記リオーダーバッファの中から実行開始する命令を選択するとともに該命令に対応する投機レベルを前記投機レベル保持手段の中から選択して実行命令投機レベルとして出力する前記実行命令選択手段と、この実行命令選択手段により選択された命令が分岐命令のときにカウント信号を生成する分岐命令実行検出デコーダと、この分岐命令実行検出デコーダからの前記カウント信号により投機解消レベルをカウントする投機解消レベルカウンタと、前記投機レベルカウンタの投機レベル、前記投機解消レベルカウンタの投機解消レベルおよび前記実行命令選択手段により実行開始する命令として選択された命令の実行命令投機レベルを比較して投機的実行を検出する投機的実行検出手段と、この投機的実行検出手段により投機的実行が検出されたときにカウントする投機的実行命令数カウンタとを有し、前記投機的実行命令数カウンタのカウント値を採取することにより投機的に実行された命令の数を数えることができることを特徴とする。

【0009】また、本発明の投機的実行命令数カウント装置は、前記投機的実行検出手段が、実行命令投機レベル \leq 投機解消レベル \leq 投機レベル、投機レベル $<$ 実行命令投機レベル \leq 投機解消レベル、および投機解消レベル \leq 投機レベル $<$ 実行命令投機レベルの3式に基づいて投機的実行を検出する。

【0010】さらに、本発明の投機的実行命令数カウント装置は、前記リオーダーバッファが、オペコードおよびオペランドを保持する複数のエントリからなるオペコード／オペランド保持手段と、対応するオペコード／オペランドが有効か否かを表すバリッドビットを保持するエントリ有効フラグと、対応するオペコード／オペランドが実行開始する条件を満たしているか否かを判断するために必要な情報を保持する複数のエントリからなる制御情報保持手段とから構成されている。

【0011】さらにまた、本発明の投機的実行命令数カウント装置は、前記実行命令選択手段が、前記リオーダーバッファからバリッドビットおよび制御情報をそれぞれ受け取って前記リオーダーバッファで保持されている各命令の実行優先順位を調停し実行開始される命令の選択信号を出力する実行命令選択実行手段と、この実行命令選択実行手段からの選択信号に基づいて前記リオーダーバッファから実行開始される命令を選択して前記分岐

命令実行検出デコーダへ出力するオペコード／オペランド選択手段と、前記実行命令選択実行手段からの選択信号に基づいて前記投機レベル保持手段から実行開始される命令に対応する投機レベルを選択して実行命令投機レベルとして出力する投機レベル選択手段とから構成されている。

【0012】また、本発明の投機的実行命令数カウント装置は、前記投機的実行検出手段が、前記投機レベルと前記投機解消レベルとを比較する第1の比較器と、前記投機レベルと前記実行命令投機レベルとを比較する第2の比較器と、前記投機解消レベルと前記実行命令投機レベルとを比較する第3の比較器と、前記第1の比較器の出力と前記第2の比較器の出力とを論理積する第1のANDゲートと、前記第1の比較器の出力と前記第3の比較器の出力とを論理積する第2のANDゲートと、前記第2の比較器の出力と前記第3の比較器の出力とを論理積する第3のANDゲートと、第1ないし第3のANDゲートの出力を論理和して反転するNORゲートとから構成されている。

【0013】さらに、本発明の投機的実行命令数カウント装置は、前記投機レベル、前記投機解消レベルおよび前記実行命令投機レベルを比較する比較器を備え、前記投機レベルと前記投機解消レベルとの差が前記投機レベルカウンタおよび前記投機解消レベルカウンタの最大カウント値であれば、あるいは前記投機レベルと前記実行命令投機レベルとの差が前記投機レベルカウンタの最大カウント値であれば、前記比較器から抑止信号が出力され、前記命令デコーダ、前記投機レベルカウンタ、前記リオーダーバッファおよび前記投機レベル保持手段への入力が抑止される。

【0014】さらにまた、本発明の投機的実行命令数カウント装置は、前記比較器が、前記投機レベルと前記投機解消レベルとを比較する投機—投機解消レベル比較器と、前記投機レベルと前記実行命令投機レベルとを比較する投機—実行命令投機レベル比較器と、前記投機—投機解消レベル比較器の出力と前記投機—実行命令投機レベル比較器の出力とを論理和するORゲートとから構成されている。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

【0016】図1は、本発明の一実施の形態に係る投機的実行命令数カウント装置の構成を示す回路ブロック図である。本実施の形態に係る投機的実行命令数カウント装置は、命令バッファ1と、命令バッファ1から取り出された命令をデコードする命令デコーダ2と、命令デコーダ2によりデコードされた命令を一時記憶しておくリオーダーバッファ3と、リオーダーバッファ3の中から実行開始する命令を選択する実行命令選択手段6と、リオーダーバッファ3に分岐命令が登録される際に命令デ

コーダ2からの出力によりカウントアップする投機レベルカウンタ4と、リオーダーバッファ3のエントリ位置に対応して投機レベルカウンタ4の投機レベル α ($= 0, 1, \dots, n$ (正整数)) が保持される投機レベル保持手段5と、リオーダーバッファ3の中から実行開始する命令を選択するとともに該命令に対応する投機レベル α を投機レベル保持手段5の中から実行命令投機レベル γ ($= 0, 1, \dots, n$) として選択する実行命令選択手段6と、実行命令選択手段6により選択された命令が分岐命令のときにカウント信号を生成する分岐命令実行検出デコーダ7と、分岐命令実行検出デコーダ7からのカウント信号により投機解消レベル β ($= 0, 1, \dots, n$) をカウントアップする投機解消レベルカウンタ8と、投機レベル α 、投機解消レベル β および実行命令投機レベル γ を比較して投機的実行を検出する投機的実行検出手段9と、投機的実行検出手段9により投機的実行が検出されたときにカウントアップする投機的実行命令数カウンタ10と、命令バッファ1から命令コードがフェッチされる命令コードレジスタ11と、投機レベル α 、投機解消レベル β および実行命令投機レベル γ を比較して抑止信号を出力する比較器12と、投機レベルカウンタ4の投機レベル α を格納する投機レベルレジスタ13と、投機解消レベルカウンタ8の投機解消レベル β を格納する投機解消レベルレジスタ14と、実行命令選択手段6からの実行命令投機レベル γ を格納する実行命令投機レベルレジスタ15とから構成されている。

【0017】リオーダーバッファ3は、図2により詳細に示すように、オペレーションコード（以下、オペコードという）およびオペランドを保持する複数のエントリからなるオペコード／オペランド保持手段31と、対応するオペコード／オペランドが有効否かを表すバリッドビットを保持する複数のエントリからなるエントリ有効フラグ32と、対応するオペコード／オペランドが実行開始する条件を満たしているか否かを判断するために必要な制御情報を保持する複数のエントリからなる制御情報保持手段33とから構成されている。

【0018】投機レベルカウンタ4は、命令デコーダ2により分岐命令がデコードされ、リオーダーバッファ3に登録されるときにカウントアップされるカウンタである。投機レベルカウンタ4のカウント値、すなわち投機レベル α は、命令がデコードされてリオーダーバッファ3に登録されるときに該命令が登録されるリオーダーバッファ3のエントリ位置に対応して、投機レベル保持手段5のエントリに保持される。

【0019】投機レベル保持手段5は、図2により詳細に示すように、リオーダーバッファ3のエントリ位置に対応して、投機レベルカウンタ4の投機レベル α を保持する複数のエントリで構成されている。

【0020】実行命令選択手段6は、リオーダーバッファ3中の実行可能状態になった命令のうちから実行開始す

る命令を選択する。実行命令選択手段6は、分岐命令以外の命令はアウトオブオーダーで実行開始する命令として選択するが、分岐命令は、分岐命令同士の順序を守って選択する。実行命令選択手段6は、選択した命令をリオーダーバッファ3から取り出すと同時に、選択された命令に対応する投機レベル α を投機レベル保持手段5から実行命令投機レベル γ として取り出す。

【0021】実行命令選択手段6は、図2により詳細に示すように、リオーダーバッファ3からバリッドビットおよび制御情報をそれぞれ受け取ってリオーダーバッファ3で保持されている各命令の実行優先順位を調停し実行開始される命令の選択信号を出力する実行命令選択実行手段61と、実行命令選択実行手段61からの選択信号に基づいてリオーダーバッファ3から実行開始される命令を選択して分岐命令実行検出デコーダ7へ出力するオペコード/オペランド選択手段62と、実行命令選択実行手段61からの選択信号に基づいて投機レベル保持手段5から実行開始される命令に対応する投機レベル α を選択して実行命令投機レベル γ として出力する投機レベル選択手段63とから構成されている。

【0022】分岐命令実行検出デコーダ7は、実行命令選択手段6によって実行開始する命令として選択された命令が分岐命令であるとき、投機解消レベルカウンタ8のカウント信号を生成する。

【0023】投機的実行検出手段9は、投機レベルレジスタ13の投機レベル α と投機解消レベルレジスタ14の投機解消レベル β とを比較する比較器91と、投機レベルレジスタ13の投機レベル α と実行命令投機レベルレジスタ15の実行命令投機レベル γ とを比較する比較器92と、投機解消レベルレジスタ14の投機解消レベル β と実行命令投機レベルレジスタ15の実行命令投機レベル γ とを比較する比較器93と、比較器91の出力と比較器92の出力とを論理積するANDゲート94と、比較器91の出力と比較器93の出力とを論理積するANDゲート95と、比較器92の出力と比較器93の出力とを論理積するANDゲート96と、ANDゲート94、95および96の出力を論理和して反転するNORゲート97とから構成されている。

【0024】比較器12は、投機レベルカウンタ4の投機レベル α と投機解消レベルカウンタ8の投機解消レベル β とを比較する投機-投機解消レベル比較器121と、投機レベルカウンタ4の投機レベル α と実行命令選択手段6で実行開始する命令として選択された命令の実行命令投機レベル γ とを比較する投機-実行命令投機レベル比較器122と、投機-投機解消レベル比較器121の出力と投機-実行命令投機レベル比較器122の出力とを論理和するORゲート123とから構成されている。

【0025】次に、このように構成された本実施の形態に係る投機的実行命令数カウント装置の動作について説

明する。

【0026】実行される命令は、命令バッファ1に一度蓄えられた後に、命令コードレジスタ11を介して命令デコーダ2で1クロックサイクルに1回デコードされる。

【0027】命令デコーダ2でデコードされた命令は、リオーダーバッファ3に登録される。同時に、デコードされた該命令が分岐命令だった場合は、投機レベルカウンタ4の投機レベル α がカウントアップされる。すでに投機レベルカウンタ4の投機レベル α が最大カウント値nであり、オーバーフローする場合には、投機レベルカウンタ4の投機レベル α は0にリセットされる。

【0028】投機レベルカウンタ4の投機レベル α は、投機レベル保持手段5へ出力され、投機レベル保持手段5が受け取った投機レベル α は、リオーダーバッファ3に登録された命令のエントリ位置に対応して、例えば図3に例示するように保持される。

【0029】リオーダーバッファ3では、オペコード/オペランド保持手段31にオペコードおよびオペランドが保持されているが、各命令につきエントリ有効フラグ32のバリッドビットおよび制御情報保持手段33の制御情報も対応して一緒に保持されている。オペコード/オペランド保持手段31が保持するオペコード/オペランド、エントリ有効フラグ32が保持するバリッドビット、および制御情報保持手段33が保持する制御情報は、実行命令選択手段6へ出力される。

【0030】実行命令選択手段6は、リオーダーバッファ3の中の実行可能状態になった命令のうちから実行開始する命令を選択する。ここで、分岐命令は分岐命令同士の順序を守って選択しなければならないが、分岐命令以外の命令はアウトオブオーダーで実行することができる。なお、命令の選択は、1クロックサイクルに1回行われるものとする。また、実行命令選択手段6は、実行開始する命令をリオーダーバッファ3から取り出すと同時に、対応する投機レベル α も投機レベル保持手段5から実行命令投機レベル γ として取り出す。

【0031】詳しくは、実行命令選択手段6では、実行命令選択実行手段61が、エントリ有効フラグ32および制御情報保持手段33からバリッドビットおよび制御情報をそれぞれ受け取り、オペコード/オペランド保持手段31に保持されている各オペコード/オペランドの実行優先順位を調停し、実行開始される命令の選択信号をオペコード/オペランド選択手段62および投機レベル選択手段63へ送る。

【0032】オペコード/オペランド選択手段62は、実行命令選択実行手段61からの実行開始される命令の選択信号に基づいて、オペコード/オペランド保持手段31から実行開始されるオペコード/オペランドを受け取り、分岐命令実行検出デコーダ7へ出力する。

【0033】また、投機レベル選択手段63は、実行命

令選択実行手段61からの実行開始される命令の選択信号に基づいて、投機レベル保持手段5から実行開始されるオペコード／オペランドに対応する投機レベル α を実行命令投機レベル γ として選択して出力する。

【0034】分岐命令実行検出デコーダ7は、実行命令選択手段6で選択された実行開始される命令が分岐命令かどうかを判断する。もし、実行開始される命令が分岐命令だったならば、分岐命令実行検出デコーダ7は、カウント信号を投機解消レベルカウンタ8に出力する。

【0035】投機解消レベルカウンタ8は、分岐命令実行検出デコーダ7からのカウント信号に応じて投機解消レベル β をカウントアップする。ここで、投機解消レベルカウンタ8がカウントできる最大カウント値および最小カウント値は、投機レベルカウンタ4と同じ n および0であるものとする。また、すでに投機解消レベルカウンタ8の投機解消レベル β が最大カウント値 n であり、オーバーフローする場合は、投機解消レベルカウンタ8の投機解消レベル β は0にリセットされる。

【0036】投機的実行検出手段9は、投機レベルカウンタ4の投機レベル α を投機レベルレジスタ13を介して、投機解消レベルカウンタ8の投機解消レベル β を投機解消レベルレジスタ14を介して、実行命令選択手段

実行命令投機レベル $\gamma \leq$ 投機解消レベル $\beta \leq$ 投機レベル α

【0040】もし、投機レベル α が投機解消レベル β 以下ならば、これは投機レベルカウンタ4のカウント値がオーバーフローしてリセットされたために起こった現象だということができる。また、リセット後に、さらに投機レベルカウンタ4のカウント値がインクリメントしても、投機レベル α が実行命令投機レベル γ を超えることはない。なぜならば、今までに分岐先が確定していない分岐命令の数が投機レベルカウンタ4のカウントできる最大カウント値 n を超えることがないように、分岐命令のデコードが抑止されるからである。

【0041】すなわち、命令バッファ1から出力される命令が分岐命令である場合、次の条件①、②のどちらかが成り立てば、該分岐命令はそれ以前にリオーダーバッファ3に登録された分岐命令の分岐先が1つ確定するまで該分岐命令のデコードは抑止される。

【0042】条件①：今までに分岐先が確定していない分岐命令数が、投機レベルカウンタ4のカウントすることができる最大カウント値 n と同じ。

【0043】条件②：現在実行している命令から今まで命令バッファ1より出力された分岐命令までの分岐命令数が、投機レベルカウンタ4のカウントすることができる最大カウント値 n と同じ。

投機レベル $\alpha <$ 実行命令投機レベル $\gamma \leq$ 投機解消レベル β

(2)

【0048】この式(2)が成立しても、実行開始される命令は投機的実行でないことがわかる。

【0049】さらに、式(2)の状態から投機解消レベルカウンタ8がカウントアップされ、オーバーフローし

6により実行開始する命令として選択された命令の実行命令投機レベル γ を実行命令投機レベルレジスタ15を介してそれぞれ入力し、投機レベル α 、投機解消レベル β および実行命令投機レベル γ を比較して、実行開始する命令が投機的実行であるかどうかを検出する。

【0037】ところで、実行開始される命令が投機的実行かどうかは、実行命令投機レベル γ と投機解消レベル β とを比較し、実行命令投機レベル γ が投機解消レベル β 以下であれば投機的実行でないことが分かる。しかし、投機レベルカウンタ4や投機解消レベルカウンタ8は、最大カウント値 n を超えるとリセットされるために、このままでは実行命令投機レベル γ と投機解消レベル β との大小を比較することができない。そこで、比較対象に投機レベル α も取り入れ、投機レベル α 、投機解消レベル β および実行命令投機レベル γ を比較することにより、実行開始される命令が投機的実行かどうかを判断することにする。

【0038】投機レベル α は、常に論理的に実行命令投機レベル γ や投機解消レベル β より大きいはずである。つまり、次式(1)が成立すれば、実行開始される命令は投機的実行でないことがわかる。

【0039】

(1)

【0044】具体的には、投機レベル α と投機解消レベル β とを比較器12で比較する。投機レベル α と投機解消レベル β との差が n であれば、比較器12から抑止信号が出力され、命令コードレジスタ11、投機レベルカウンタ4、リオーダーバッファ3および投機レベル保持手段5への入力が抑止される。

【0045】詳しくは、比較器12において、投機一投機解消レベル比較器121および投機一実行命令投機レベル比較器122によってそれぞれ条件①および条件②の成立の有無を調べる。そして、投機一投機解消レベル比較器121および投機一実行命令投機レベル比較器122の出力をORゲート123により論理和した信号を元に、命令コードレジスタ11、投機レベルカウンタ4、投機レベル保持手段5およびリオーダーバッファ3への入力を抑止して、命令のデコードを抑止する。

【0046】以上により、投機レベルカウンタ4がリセットされた場合、投機レベル α は、比較対象となる投機解消レベル β および実行命令投機レベル γ より小さくなる。よって、式(1)を書き直すと、次式(2)のようになる。

【0047】

てリセットされた場合も、投機解消レベル β が比較対象となる投機レベル α および実行命令投機レベル γ より小さくなるため、式(2)を書き直すと、次式(3)のようになる。

【0050】

投機解消レベル $\beta \leq$ 投機レベル $\alpha <$ 実行命令投機レベル γ (3)

【0051】この式(3)が成立しても、実行開始される命令は投機的実行でないことがわかる。

【0052】これら式(1), (2), (3)の成立について、もう少し詳しく述べる。

【0053】これから、投機レベル α 、投機解消レベル β および実行命令投機レベル γ の大小関係を調べる。次に示す3式、

投機レベル $\alpha \square$ 投機解消レベル β ,

投機解消レベル $\beta \square$ 実行命令投機レベル γ , および

実行命令投機レベル $\gamma \square$ 投機レベル α

の \square の中にく, >, =の3種類の等号・不等号記号のいずれかが入るので、投機レベル α 、投機解消レベル β および実行命令投機レベル γ の大小関係で考えられるすべての組み合わせは、3の3乗、すなわち27通り存在する。しかし、この中には、次に示す例1, 例2および例3のように、数学的にありえない状態が存在する。

【0054】

例1: 投機レベル $\alpha <$ 投機解消レベル β ,

投機解消レベル $\beta <$ 実行命令投機レベル γ , および

実行命令投機レベル $\gamma <$ 投機レベル α

【0055】

例2: 投機レベル $\alpha <$ 投機解消レベル β ,

投機解消レベル $\beta <$ 実行命令投機レベル γ , および

投機解消レベル $\beta \leq$ 投機レベル α

【0061】しかし、実際には、投機解消レベル β が投機レベル α よりも大きくなることもある。これは、投機レベルカウンタ4および投機解消レベルカウンタ8のカウントできる最大カウント値 n が有限であるが故に、投機レベルカウンタ4がオーバーフローを起こしてリセットされたためと考えることができる。この現象を、具体例で説明する。

【0062】例えば、投機レベルカウンタ4および投機解消レベルカウンタ8が3ビットカウンタであり、それぞれそのカウント値が、投機解消レベル $\beta = 5$ および投機レベル $\alpha = 3$ となっていた場合、式(4)は成立していない。そこで、投機レベルカウンタ4のカウント値は、オーバーフローを起こしていることが分かる。そこで、3ビットカウンタの扱うことのできる数は0~7であることを考慮に入れると、本来の投機レベル α は、次のうちのどれかということになる。

【0063】

投機レベル $\alpha = 11, 19, 27, 35, 43, \dots$

【0064】ここで、今までに分岐先が確定していない分岐命令数が7より大きくなることはありえない。なぜ

投機解消レベル $\beta <$ 投機レベル α

【0069】また、投機レベル α と実行命令投機レベル γ との大小関係についても、同様のことがいえる。

【0070】命令デコーダ2でデコードされる分岐命令

実行命令投機レベル $\gamma =$ 投機レベル α

【0056】

例3: 投機レベル $\alpha <$ 投機解消レベル β ,

投機解消レベル $\beta =$ 実行命令投機レベル γ , および

実行命令投機レベル $\gamma =$ 投機レベル α

【0057】これらの例は、みな任意の2式が成立すると、必ず他の1式が不成立になるため、数学的にありえない状態である。このような数学的にありえない状態が14通りあるため、実際に投機レベル α 、投機解消レベル β および実行命令投機レベル γ の大小関係で考えられる組み合わせは(27-14=)13通りである。この13通りを抜き出してまとめたものを、図4に示す。

【0058】しかし、図4に示す13通りは、必ずしも各レベルの大小関係を正しく表わしているとは限らない。それについて詳しく説明する。

【0059】投機レベルカウンタ4は、命令デコーダ2でデコードされる分岐命令により、必ずカウントアップされる。その分岐命令が実行命令選択手段6から出力されると、投機解消レベルカウンタ8は、必ずカウントアップされる。つまり、投機解消レベル β が投機レベル α を追い越すことは、論理的にありえない。よって、次式(4)が成立する。

【0060】

(4)

なら、前記条件①により、今までに分岐先が確定していない分岐命令数が8になろうとする前に、分岐命令のデコードが抑止されるからである。以上により、次式が常に成立することが分かる。

【0065】投機レベル $\alpha -$ 投機解消レベル $\beta \leq 7$

【0066】よって、本来の投機レベル α は、投機レベル $\alpha = 11$ ということが分かる。これは、式(4)を満たしている。

【0067】実際には、上記の例のように投機レベル α の本来の値まで求める必要はない。投機レベル α と投機解消レベル β との大小関係が分かれば、実行開始される命令が投機的実行可否かを知るのに必要な情報の1つとして十分である。つまり、式(4)が成立している場合は、そのままそのことを把握するだけでよい。また、成立していない場合は、投機レベルカウンタ4のオーバーフローによるリセットのために関係が逆転して見えるだけに過ぎないため、本来の大小関係を示す次式(5)が成立していることを把握すればよい。

【0068】

(5)

により、投機レベルカウンタ4は必ずカウントアップされる。一方、実行命令投機レベル γ は、元々、投機レベル保持手段5から取り出してきたものであり、さらにそ

の元は投機レベルカウンタ4から取り出してきたものである。つまり、実行命令投機レベル γ が投機レベル α を追い越すことは論理的にありえない。よって、次式

$$\text{実行命令投機レベル}\gamma \leq \text{投機レベル}\alpha$$

【0072】しかし、実際には、実行命令投機レベル γ が投機レベル α よりも大きくなることもある。これも、やはり投機レベルカウンタ4がオーバーフローを起こしてリセットされたためと考えることができる。前記条件②を考慮すれば、先ほどの例と全く同様の考え方で、本来の大小関係を把握することができる。つまり、式

(6)が成立している場合は、そのままそのことを把握

$$\text{実行命令投機レベル}\gamma < \text{投機レベル}\alpha$$

【0074】以上のことを踏まえ、図4①において各レベルの大小関係が正しく記述されてない部分を直すと、図4②のようになる。

$$\text{実行命令投機レベル}\gamma \leq \text{投機解消レベル}\beta$$

【0077】なぜならば、投機解消レベル β 以下の実行命令投機レベル γ を持つ命令はすでに分岐先が確定されている意味を持ち、今後いつ実行しても投機的実行でないことが明らかだからである。

【0078】そこで、図4②に式(8)を適用し、実行開始される命令が投機的実行可否かを分類すると、図4③のようになる。この図4③を元に投機的実行でない条件式を図4①および②より選び出してまとめたものが、式(1)、(2)、(3)となる。

【0079】これらの式(1)、(2)、(3)の性質を利用するために、投機レベル α 、投機解消レベル β および実行命令投機レベル γ をそれぞれ投機的実行検出手段9へ入力する。

【0080】投機的実行検出手段9は、受け取った投機レベル α 、投機解消レベル β および実行命令投機レベル γ を、式(1)、(2)、(3)により比較し、実行開始される命令の投機的実行の有無を検出する。

【0081】具体的には、投機レベル α と投機解消レベル β とを比較する比較器91、および投機解消レベル β と実行命令投機レベル γ とを比較する比較器93の2つの比較器を用いて比較し、その出力をANDゲート95に入力する。このANDゲート95からの出力は、式

(1)を満たしていることになる。また、投機レベル α と実行命令投機レベル γ とを比較する比較器92、および比較器93の2つの比較器を用いて比較し、その出力をANDゲート96に入力する。このANDゲート96からの出力は、式(2)を満たしていることになる。同様にして、比較器91と比較器92との2つの比較器を用いて比較し、その出力をANDゲート94に入力する。このANDゲート94からの出力は、式(3)を満たしていることになる。さらに、ANDゲート93、94、および95からの出力をNORゲート97に入力する。このNORゲート97からの出力は、実行開始される命令が投機的実行であることを示している。なぜなら

(6)が成立する。

【0071】

(6)

するだけでよい。また、成立していない場合は、投機レベルカウンタ4のオーバーフローによるリセットのために関係が逆転して見えるだけに過ぎないため、本来の大小関係を示す次式(7)が成立していることを把握すればよい。

【0073】

(7)

【0075】この組み合わせのうち、次式(8)が成立しているものは投機的実行でない。

【0076】

(8)

ば、これらの式(1)、(2)、(3)どれか1つでも満たしていれば、実行開始される命令は投機的実行でないためである。

20 【0082】検出結果は、投機的実行命令数カウンタ10へ出力され、投機的実行命令数カウンタ10は、実行開始される命令が投機的実行と判定するとカウントアップする。投機的実行命令数カウンタ10が示すカウント値を採取することにより、投機的実行命令数を知ることができる。

【0083】

【発明の効果】本発明の効果は、カウントされた投機的実行命令数を採取して利用することにより、プログラム最適化やハードウェア性能改善のための解析時間の短縮を図ることができることである。その理由は、投機的に実行された命令の数を数えるハードウェアを情報処理装置に付加したからである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施の形態に係る投機的実行命令数カウント装置の構成を示す回路ブロック図である。

【図2】図1中のリオーダーバッファ、投機レベル保持手段および実行命令選択手段をより詳細に示す回路ブロック図である。

【図3】図1中のリオーダーバッファおよび投機レベルカウンタの内容を例示する図である。

【図4】本実施の形態に係る投機的実行命令数カウント装置において投機レベル、投機解消レベルおよび実行命令投機レベルの大小関係で実際に考えられる組み合わせを抜き出してまとめた図である。

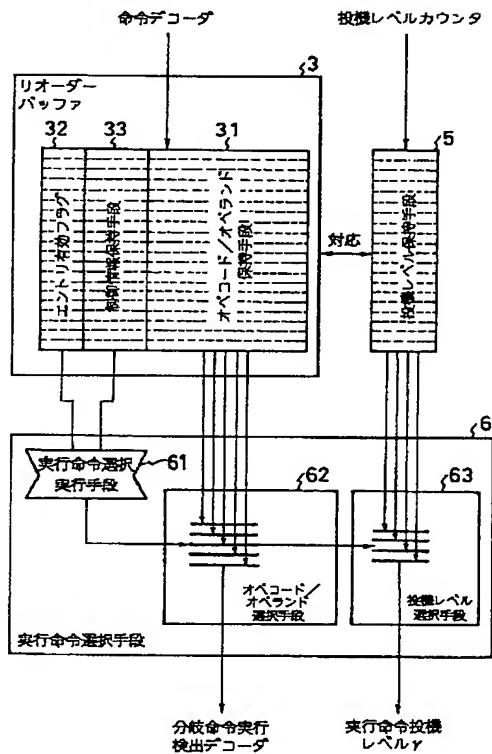
【符号の説明】

- 1 命令バッファ
- 2 命令デコーダ
- 3 リオーダーバッファ
- 4 投機レベルカウンタ
- 5 投機レベル保持手段

- 6 実行命令選択手段
- 7 分岐命令実行検出デコーダ
- 8 投機解消レベルカウンタ
- 9 投機的実行検出手段
- 10 投機的実行命令数カウンタ
- 11 命令コードレジスタ
- 12 比較器
- 13 投機レベルレジスタ
- 14 投機解消レベルレジスタ
- 15 実行命令投機レベルレジスタ
- 31 オペコード/オペランド保持手段
- 32 エントリ有効フラグ

- 32 制御情報保持手段
- 61 実行命令選択実行手段
- 62 オペコード/オペランド選択手段
- 63 投機レベル選択手段
- 91~93 比較器
- 94~96 ANDゲート
- 97 NORゲート
- 121 投機-投機解消レベル比較器
- 122 投機-実行命令投機レベル比較器
- 10 123 ORゲート

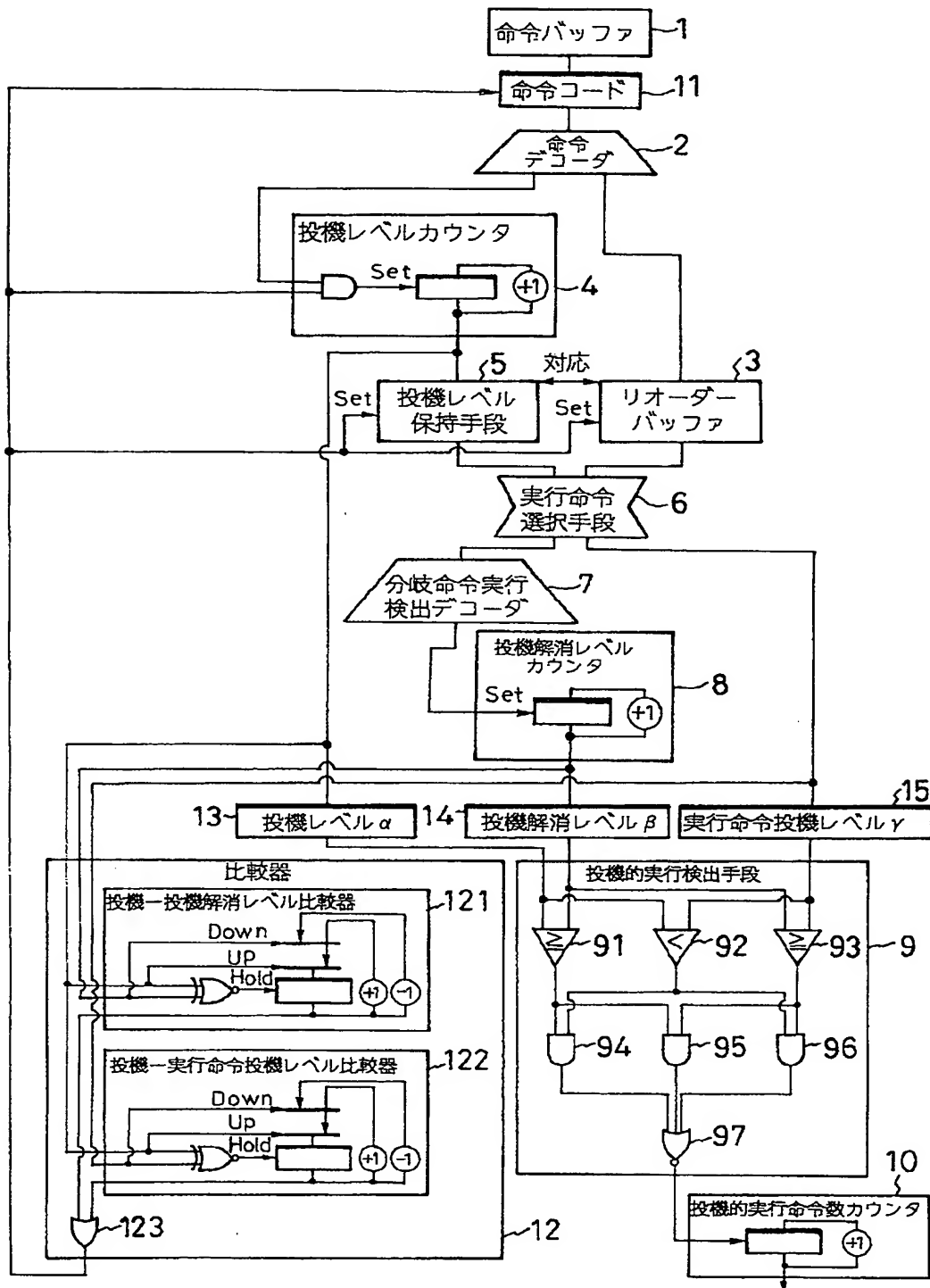
【図2】



【図3】

リオーダーバッファ3	投機レベル保持手段5
非分岐命令	5
分岐命令5	5
非分岐命令	4
非分岐命令	4
分岐命令4	4
非分岐命令	3
分岐命令3	3
非分岐命令	2
非分岐命令	2
非分岐命令	2
分岐命令2	2
非分岐命令	1
非分岐命令	1
分岐命令1	1

【図 1】



【図 4】

① 3つの値の大小関係で考えられる組み合わせ	② 本来の大小関係の組み合わせ	③ 投機的実行分類
実行レベル < 解消レベル < 投機レベル	①のまま	投機的実行でない
実行レベル < 解消レベル = 投機レベル	①のまま	投機的実行でない
投機レベル < 実行レベル < 解消レベル →	実行レベル < 解消レベル < 投機レベル	投機的実行でない
実行レベル = 投機レベル < 解消レベル →	解消レベル < 実行レベル = 投機レベル	投機的実行
実行レベル < 投機レベル < 解消レベル →	解消レベル < 実行レベル < 投機レベル	投機的実行
実行レベル = 解消レベル < 投機レベル	①のまま	投機的実行でない
実行レベル = 解消レベル = 投機レベル	①のまま	投機的実行でない
投機レベル < 実行レベル = 解消レベル →	実行レベル = 解消レベル < 投機レベル	投機的実行でない
解消レベル < 投機レベル < 実行レベル →	実行レベル < 解消レベル < 投機レベル	投機的実行でない
解消レベル < 実行レベル = 投機レベル	①のまま	投機的実行
解消レベル < 実行レベル < 投機レベル	①のまま	投機的実行
解消レベル = 投機レベル < 実行レベル →	実行レベル < 解消レベル = 投機レベル	投機的実行でない
投機レベル < 解消レベル < 実行レベル →	解消レベル < 実行レベル < 投機レベル	投機的実行

注：投機レベル＝投機レベル α
 解消レベル＝投機解消レベル β
 実行レベル＝実行命令投機レベル γ